



ANALISIS PENGARUH PERBEDAAN FAKTOR PROSES PENGEFRAISAN TERHADAP KEHALUSAN PERMUKAAN BENDA KERJA DENGAN DESAIN EKSPERIMEN

Yuda Ari Wibowo¹, Trismi Ristyowati, ST., MT², Gunawan Madyono .P., ST., MT²

1. Mahasiswa, 2. Dosen Pembimbing

Teknik Industri, UPN "Veteran" Yogyakarta

Email: yuda.ari.wibowo.idol@gmail.com

ABSTRAK

Proses pengefraisan dengan menggunakan mesin CNC merupakan suatu proses yang sangat banyak digunakan pada industri saat ini. Salah satu hasil dari proses pengefraisan dengan CNC adalah end plug yang merupakan bagian yang ada pada mesin mobil. Untuk memenuhi tuntutan kualitas kehalusan hasil dari proses pengefraisan dengan CNC ini, operator harus memperhatikan beberapa faktor yang meliputi kondisi pemotongan yang antara lain kecepatan potong, ketebalan pemakanan, kedalaman pemakanan dan sebagainya. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh masing-masing faktor proses pengefraisan terhadap kehalusan permukaan benda kerja dengan pengujian kehalusan, serta menentukan kombinasi yang terbaik dari faktor pengefraisan yang menghasilkan kehalusan permukaan yang maksimal.

Faktor yang digunakan adalah faktor diameter alat potong (12, dan 8) mm, faktor arah gerak alat potong (konvensional, climb), faktor kecepatan potong (80, dan 50) m/ menit, dan faktor kedalaman potong (3, dan 4,5) mm. Sedangkan untuk tahapan pengolahan data eksperimen faktorial 2^k meliputi melakukan analisis variansi, melakukan uji hipotesa, dan pengujian dengan Newman-Keuls.

Dari analisis hasil eksperimen menunjukkan bahwa kombinasi parameter terbaik (kehalusan yang maksimal) dalam pengefraisan end plug yaitu kombinasi A2 B2 C2 D1. Dimana kombinasi parameter tersebut adalah diameter alat potong 8 mm, arah gerak alat potong secara climb, kecepatan potong 50 m/ menit, dan kedalaman potong 3 mm.

Kata kunci : proses pengefraisan, kehalusan permukaan, desain eksperimen faktorial.

ABSTRACT

Milling process using CNC machining is a process which is widely used in industry today. One result of the process pengefraisan with CNC is an end plug which is part of existing in a car engine. To meet the demands of quality smoothness results from the process pengefraisan with this CNC, the operator must consider several factors including the cutting conditions which include cutting speed, the thickness of the feeds, depth of and so forth. The purpose of this study was to determine the influence of each factor pengefraisan process of workpiece surface smoothness with smoothness testing, and determine the best combination of factors pengefraisan that produces the maximum surface smoothness.

The factors that used cutting tool diameter is a factor (12, and 8) mm, the factor of direction of movement of cutting tools (conventional, climb), cutting speed factor (80, and 50) m / min, and the factor of depth of cut (3, and 4, 5) mm. As for the stages of data processing 2^k factorial experiments include the analysis of variance, hypothesis testing, and testing with the Newman-Keuls. .

From the analysis of experimental results showed that the best combination of parameters (smoothness of maximal) in pengefraisan end plug which is a combination of A2 B2 C2 D1. Where a combination of these parameters is 8 mm diameter cutting tools, the direction of motion in a climb cutting tools, cutting speed 50 m / min, and the depth of cut 3 mm.

Keywords: milling process, surface smoothness, factorial experimental design.

I. Pendahuluan

Sejalan dengan ketatnya persaingan dalam bidang industri dan pentingnya kualitas produk bagi konsumen maka suatu produk harus diperhatikan kualitasnya, khususnya pada proses produksi yang menggunakan mesin-mesin perkakas seperti mesin skrap, mesin frais, mesin bubut dan mesin-mesin produksi yang lainnya. Salah satunya yaitu mesin frais CNC yang merupakan pengembangan dari mesin frais konvensional. Salah satu fungsi mesin frais CNC yaitu untuk membuat komponen dari bermacam-macam mesin yang salah satunya adalah *end plug*. *End plug* adalah salah satu komponen yang terletak didalam mesin mobil.

Pada dasarnya setiap pekerjaan mesin mempunyai persyaratan kualitas permukaan (kehalusan permukaan) yang berbeda-beda, tergantung dari fungsinya. Makin halus permukaannya makin baik pula kualitasnya, sehingga cukup beralasan juga apabila kehalusan permukaan hasil pemengfraisan diperhatikan dan dicari solusi untuk mendapatkan yang sehalus mungkin. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kehalusan permukaan pada pengerjaan logam dengan menggunakan mesin frais, antara lain kecepatan potong, ketebalan pemakanan (*feeding*), kedalaman pemakanan (*depth of cut*), kecepatan potong (*cutting speed*), kondisi mesin, bahan benda kerja, bentuk pahat mata potong, pendinginan dan operator. Untuk itu operator harus memperhatikan setting yang tepat terhadap kecepatan potong, ketebalan pemakanan, dan kedalaman pemakanan untuk memperoleh produk dengan kualitas yang maksimal.

Pada penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat kehalusan. Maka dari itu perlu dilakukan suatu penelitian untuk menganalisa pengaruh faktor-faktor lain. Faktor yang dipergunakan dalam penelitian ini meliputi faktor diameter alat potong, arah putaran alat potong, kecepatan potong, dan kedalaman potong dengan variabel respon berupa kehalusan permukaan. Analisis yang digunakan adalah desain eksperimen faktorial $2 \times 2 \times 2 \times 2$ dimana terdapat dua taraf faktor diameter alat potong, dua taraf faktor arah gerak alat potong, dua taraf faktor kecepatan potong, dan dua taraf faktor kedalaman potong.

II. Metodologi Penelitian

Obyek Penelitian

Objek dari penelitian ini adalah *end plug* hasil dari proses milling yang akan dilihat kehalusannya dengan berbagai kombinasi faktor milling pada laboratorium proses manufaktur SMK Muhammadiyah 3 Yogyakarta.

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan antara lain:

1. Mesin CNC TU-3A (merek: EMCO)
2. Pahat HSS
3. Jangka sorong
4. Sapu kecil
5. Pengunci Eretan

Bahan yang digunakan adalah aluminium paduan magnesium dengan ukuran (60x20x20) mm. Alasan pemilihan ukuran bahan ini adalah merupakan ukuran yang tersedia pada penjual dan yang paling mendekati dengan ukuran benda kerja yang akan diproses (*end plug*).

Teknik pengumpulan data

1. Untuk mengumpulkan data – data yang dibutuhkan dalam penelitian ini, proses pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan 2 metode antara lain :
 - a. Data Primer
 - 1) Data yang diperoleh dari hasil wawancara yang dilakukan secara langsung.
 - 2) Data yang diperoleh dari hasil penelitian lapangan.
 - b. Data Sekunder
 - 1) Merupakan data yang diperoleh dari data yang telah disediakan oleh perusahaan.

- 2) Data yang diperoleh dari beberapa sumber bacaan (studi literatur).
2. Data-data yang dikumpulkan
 - a. Data variasi eksperimen
 - b. Data uji kehalusan permukaan (μm)
 - c. Data standar kehalusan permukaan

Tahapan eksperimen

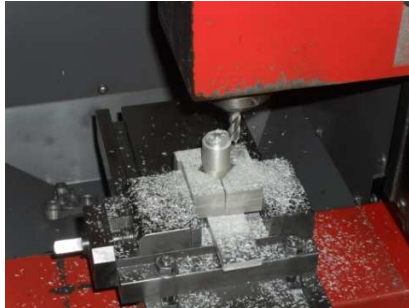
Adapun tahap-tahap eksperimen yang dibutuhkan pada desain eksperimen faktorial dalam penelitian ini adalah:

1. Menentukan variabel tak bebas (*dependent variable*)
Berdasarkan tujuan penelitian maka sebagai variabel tak bebas adalah hasil kehalusan permukaan. Variabel ini dipilih berdasarkan tujuan penelitian yaitu untuk mengetahui kehalusan end plug.
2. Menentukan variabel bebas (*independent variable*)
Dalam hal ini, variabel bebas disebut sebagai faktor. Jadi, faktor yang digunakan dalam penelitian ini adalah diameter alat potong, arah putar alat potong, kecepatan potong, dan kedalaman potong.
3. Menentukan level dari masing-masing faktor
Level disebut sebagai taraf faktor. Taraf faktor dari masing-masing faktor adalah sebagai berikut:
 - a. Diameter alat potong, terdiri dari 2 taraf faktor, yaitu:
 - 1) Diameter 12 mm (a_1)
 - 2) Diameter 8 mm (a_2)

Alasan penggunaan kedua alat potong tersebut adalah dengan ketebalan pemakanan yang kurang lebih 2 mm, lebih dianjurkan untuk menggunakan alat potong diameter 10 mm. (Sumber : Teknisi Laboratorium SMK Muhammadiyah 3 Yogyakarta)
 - b. Arah putar alat potong, terdiri dari 2 taraf faktor, yaitu:
 - 1) Konvensional milling (b_1)
Alasan : konvensional milling atau up milling biasanya sesuai untuk mesin milling manual.
 - 2) Climb milling (b_2)
Alasan : climb milling atau down milling sesuai digunakan untuk mesin milling CNC.
 - c. Kecepatan potong, terdiri dari 2 taraf faktor, yaitu:
 - 1) 80 m/menit (c_1)
 - 2) 50 m/menit (c_2)

Alasan penggunaan taraf faktor ini adalah untuk standar kecepatan potong dengan bahan aluminium adalah 70 mm/ menit. Sehingga dalam penelitian ini akan mencoba kecepatan dibawah dan diatas standar.
 - d. Kedalaman potong, terdiri dari 2 taraf factor, yaitu:
 - 1) 3 mm (d_1)
 - 2) 4,5 mm (d_2)

Alasan penggunaan kedalaman potong adalah dalam setiap pengerjaan benda kerja dianjurkan untuk tidak dilakukan dalam satu gerakan makan. Kedalaman potong disini menentukan berapa kali alat potong harus melakukan berapa kali gerakan pemakanan.
4. Menentukan jumlah eksperimen
Data untuk eksperimen proses pengefraisan yang dilakukan pada penelitian ini.
5. Pelaksanaan eksperimen
 - a. Proses pengefraisan
Pengerjaan *End plug* dengan CNC TU-3A



Gambar 1. Pengerjaan *end plug*
(Sumber: Data eksperimen proses milling)

- b. Eksperimen uji kehalusan
Pengujian kehalusan yaitu dengan menggunakan *Surfcom 1800D*



Gambar 2. Surfcom 1800D
(Sumber: Data proses pengujian kehalusan)

III. Pengolahan Data

Adapun tahap-tahap pengolahan data dalam penelitian ini adalah:

1. Perhitungan data untuk Analisis Variansi

Melakukan analisa berdasarkan hasil pengumpulan data dari desain eksperimen faktorial 2^4 dengan analisis variansi. Seluruh taraf faktor digunakan dalam penelitian ini, sehingga model tetap digunakan untuk perhitungan desain eksperimen faktorial ini. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Y_{ijkl\ell} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + C_k + AC_{ik} + BC_{jk} + D_l + AD_{il} + BD_{jl} + CD_{kl} + ABCD_{ijkl} + \varepsilon_{\ell(ijkl)} \dots\dots\dots(1)$$

Dengan :
 $i = 1, 2$
 $j = 1, 2$
 $k = 1, 2$
 $l = 1, 2$
 $\ell = 1, 2$

$Y_{ijkl\ell}$ = variabel respon hasil observasi ke- ℓ yang terjadi karena pengaruh bersama taraf ke- i faktor A, taraf ke- j faktor B, taraf ke- k faktor C, taraf ke- l faktor D.

μ = rata-rata yang sebenarnya
 A_i = efek taraf ke- i faktor A
 B_j = efek taraf ke- j faktor B
 C_k = efek taraf ke- k faktor C

| | | |
|-------------------------|---|--|
| D_l | = | Efek taraf ke-l faktor D |
| AB_{ij} | = | efek interaksi antara taraf ke-i faktor A dan taraf ke-j faktor B |
| AC_{ik} | = | efek interaksi antara taraf ke-i faktor A dan taraf ke-k faktor C |
| AD_{il} | = | efek interaksi antara taraf ke-i faktor A dan taraf ke-l faktor D |
| BC_{jk} | = | efek interaksi antara taraf ke-j faktor B dan taraf ke-k faktor C |
| BD_{jl} | = | efek interaksi antara taraf ke-j faktor B dan taraf ke-l faktor D |
| CD_{kl} | = | efek interaksi antara taraf ke-k faktor C dan taraf ke-l faktor D |
| $ABCD_{ijkl}$ | = | efek terhadap variabel respon yang disebabkan oleh interaksi antara taraf ke-i faktor A, taraf ke-j faktor B, taraf ke k faktor C, taraf ke-l faktor D |
| $\varepsilon_{l(ijkl)}$ | = | efek unit eksperimen ke-l dikarenakan oleh kombinasi perlakuan (ijkl). |

Diasumsikan $\varepsilon_{l(ijkl)} \sim \text{DNI}(0, \sigma^2_\varepsilon)$

Dalam pembuatan ANAVA, maka jumlah kuadrat-kuadratnya $\sum Y^2$ dan R_y dihitung sebagai berikut:

$$\sum Y^2 = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \sum_{\ell=1}^n Y_{ijkl\ell}^2, \text{ dengan } dk = abcdn \dots\dots\dots(2)$$

$$R_y = \left(\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \sum_{\ell=1}^n Y_{ijkl\ell} \right)^2 / (abcdn), \text{ dengan } dk = 1 \dots\dots\dots(3)$$

Jumlah kuadrat-kuadrat lainnya yang diperlukan akan mudah dapat dihitung apabila data hasil observasi dipecah dan disusun dalam beberapa buah daftar, ialah daftar $a \times b \times c \times d$, daftar $a \times b$, daftar $a \times c$, daftar $a \times d$, daftar $b \times c$, daftar $b \times d$, daftar $c \times d$.

Dari daftar-daftar baru ini berturut-turut dapat dihitung:

$$\begin{aligned} J_{abcd} &= \text{Jumlah kuadrat-kuadrat antara sel untuk daftar } a \times b \times c \times d \\ &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d (J_{ijkl}^2/n) - R_y, \dots\dots\dots(4) \end{aligned}$$

$$\text{dengan } J_{ijk} = \text{elemen dalam sel (ijk) dari daftar } a \times b \times c = \sum_{\ell=1}^n Y_{ijkl\ell}$$

$$\begin{aligned} J_{ab} &= \text{Jumlah kuadrat-kuadrat antara sel untuk daftar } a \times b. \\ &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (J_{ij}^2/cdn) - R_y, \dots\dots\dots(5) \end{aligned}$$

$$\text{dengan } J_{ij} = \text{elemen dalam sel (ij) dari daftar } a \times b = \sum_{k=1}^c \sum_{\ell=1}^n Y_{ijkl\ell} = \sum_{k=1}^c J_{ijkl}$$

$$\begin{aligned} J_{ac} &= \text{Jumlah kuadrat-kuadrat antara sel untuk daftar } a \times c. \\ &= \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c (J_{ik}^2/bdn) - R_y, \dots\dots\dots(6) \end{aligned}$$

$$\text{dengan } J_{ik} = \text{elemen dalam sel (ik) dari daftar } a \times c = \sum_{j=1}^b \sum_{\ell=1}^n Y_{ijkl\ell} = \sum_{j=1}^b J_{ijkl}$$

$$J_{ad} = \text{Jumlah kuadrat-kuadrat antara sel untuk daftar } a \times d.$$

$$= \sum_{i=1}^a \sum_{l=1}^d (J_{il}^2/bcn) - R_y, \dots\dots\dots(7)$$

$$\text{dengan } J_{ik} = \text{elemen dalam sel (il) dari daftar } a \times d = \sum_{j=1}^b \sum_{\ell=1}^n Y_{ijkl} = \sum_{j=1}^b J_{ijkl}$$

$$J_{bc} = \text{Jumlah kuadrat-kuadrat antara sel untuk daftar } b \times c.$$

$$\sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c (J_{jk}^2/adn) - R_y, \dots\dots\dots(8)$$

$$\text{dengan } J_{jk} = \text{elemen dalam sel (jk) dari daftar } b \times c = \sum_{i=1}^a \sum_{\ell=1}^n Y_{ijkl} = \sum_{i=1}^a J_{ijkl}$$

$$J_{bd} = \text{Jumlah kuadrat-kuadrat antara sel untuk daftar } b \times d.$$

$$\sum_{j=1}^b \sum_{l=1}^d (J_{jl}^2/acn) - R_y, \dots\dots\dots(9)$$

$$\text{dengan } J_{jk} = \text{elemen dalam sel (jk) dari daftar } b \times d = \sum_{i=1}^a \sum_{\ell=1}^n Y_{ijkl} = \sum_{i=1}^a J_{ijkl}$$

$$J_{cd} = \text{Jumlah kuadrat-kuadrat antara sel untuk daftar } c \times d.$$

$$\sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d (J_{kl}^2/abn) - R_y, \dots\dots\dots(10)$$

$$\text{dengan } J_{kl} = \text{elemen dalam sel (kl) dari daftar } c \times d = \sum_{i=1}^a \sum_{\ell=1}^n Y_{ijkl} = \sum_{i=1}^a J_{ijkl}$$

Jumlah kuadrat-kuadrat untuk sumber variasi perlakuan A adalah:

$$A_y = \sum_{i=1}^a (A_i^2/bcdn) - R_y, \dots\dots\dots(11)$$

dengan dk = (a-1),

Jumlah kuadrat-kuadrat untuk sumber variasi perlakuan B adalah:

$$B_y = \sum_{j=1}^b (B_j^2/acdn) - R_y, \dots\dots\dots(12)$$

dengan dk = (b-1)

Jumlah kuadrat-kuadrat untuk sumber variasi perlakuan C adalah:

$$C_y = \sum_{k=1}^c (C_k^2/abdn) - R_y, \dots\dots\dots(13)$$

dengan dk = (c-1)

Jumlah kuadrat-kuadrat untuk sumber variasi perlakuan D adalah:

$$D_y = \sum_{l=1}^d (D_l^2/abcn) - R_y, \dots\dots\dots(14)$$

dengan dk = (d-1)

Selanjutnya jumlah kuadrat-kuadrat interaksi adalah:

$$AB_y = J_{ab} - A_y - B_y, \text{ dengan } dk = (a-1)(b-1) \dots\dots\dots (15)$$

$$AC_y = J_{ac} - A_y - C_y, \text{ dengan } dk = (a-1)(c-1) \dots\dots\dots (16)$$

$$AD_y = J_{ad} - A_y - D_y, \text{ dengan } dk = (a-1)(d-1) \dots\dots\dots (17)$$

$$BC_y = J_{bc} - B_y - C_y, \text{ dengan } dk = (b-1)(c-1) \dots\dots\dots (18)$$

$$BD_y = J_{bd} - B_y - D_y, \text{ dengan } dk = (b-1)(d-1) \dots\dots\dots (19)$$

$$CD_y = J_{cd} - C_y - D_y, \text{ dengan } dk = (c-1)(d-1) \dots\dots\dots (20)$$

$$ABCD_y = J_{abcd} - A_y - B_y - C_y - D_y - AB_y - AC_y - AD_y - BC_y - BD_y - CD_y - ABCD_y \dots\dots\dots (21)$$

Dengan $dk = (a-1)(b-1)(c-1)(d-1)$

$$E_y = \sum Y^2 - R_y - A_y - B_y - C_y - D_y - AB_y - AC_y - AD_y - BC_y - BD_y - CD_y - ABCD_y \dots\dots\dots (22)$$

Dengan $dk = abcd(n-1)$.

Daftar Anava untuk desain eksperimen faktorial $a \times b \times c$ dengan n observasi tiap sel, dapat ditunjukkan pada Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 1. Daftar Anava desain eksperimen faktorial $a \times b \times c$

| Sumber Variasi | dk | JK | KT | F |
|----------------|------------------------|------------|------|---|
| Rata-rata | 1 | R_y | R | |
| Perlakuan: | | | | |
| A | $a-1$ | A_y | A | |
| B | $b-1$ | B_y | B | |
| C | $c-1$ | C_y | C | |
| D | $d-1$ | D_y | D | |
| AB | $(a-1)(b-1)$ | AB_y | AB | |
| AC | $(a-1)(c-1)$ | AC_y | AC | |
| AD | $(a-1)(d-1)$ | AD_y | AD | |
| BC | $(b-1)(c-1)$ | BC_y | BC | |
| BD | $(b-1)(d-1)$ | BD_y | BD | |
| CD | $(c-1)(d-1)$ | CD_y | CD | |
| ABCD | $(a-1)(b-1)(c-1)(d-1)$ | $ABCD_y$ | ABCD | |
| Kekeliruan | $Abcd(n-1)$ | E_y | E | |
| Jumlah | $abcdn$ | $\sum Y^2$ | - | |

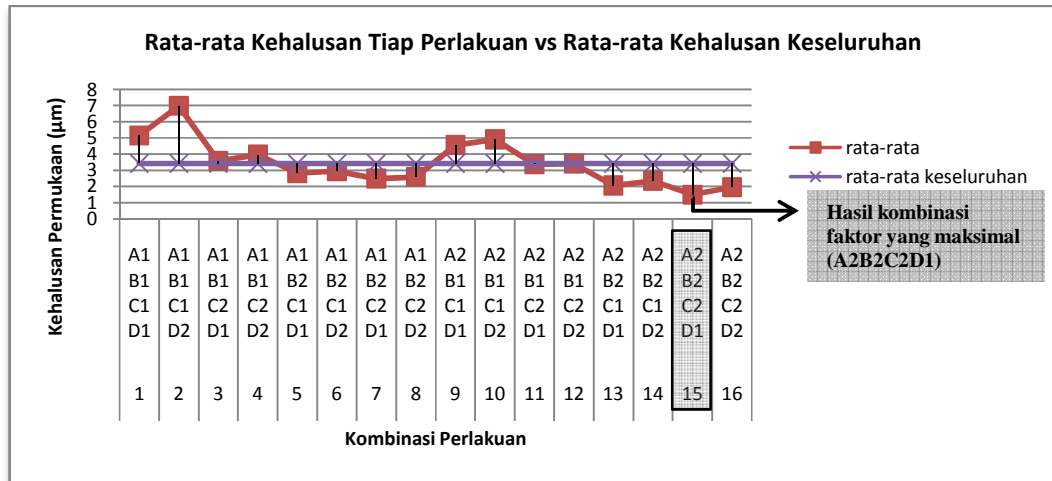
(Sumber : Sudjana,2002)

- Pengujian hipotesis terhadap harga F
Untuk mengetahui apakah perlakuan faktor arus pengelasan, faktor sudut pengelasan, dan faktor ukuran elektroda berpengaruh terhadap kekuatan sambungan las.
- Pengujian Hipotesis dengan Uji Rentang Newman-Keuls
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang berarti diantara rata-rata perlakuan. Rumus yang digunakan adalah:

$$S_{\bar{Y}_i} = \sqrt{\frac{KT(kekeliruan)}{n_i}}$$

IV. Hasil

Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan desain eksperimen faktorial dan pengujian hipotesa dengan tingkat kepercayaan sebesar 95 %, maka dapat dibuat grafik sebagai berikut:



Gambar 3. Grafik hubungan rata-rata kehalusan tiap kombinasi perlakuan dengan rata-rata kehalusan keseluruhan

Analisis Hasil Dan Pembahasan

Dari hasil perhitungan dan pengujian hipotesa dengan tingkat kepercayaan sebesar 95 %, maka ternyata interaksi antara perlakuan faktor-faktor berpengaruh terhadap hasil uji kehalusan. Dari grafik hasil penelitian pengelasan menggunakan keempat faktor perlakuan pada Gambar 4.5, kombinasi perlakuan yang termasuk menghasilkan kehalusan melebihi rata-rata adalah (A1 B1 C1 D1), (A1 B1 C1 D2), (A1 B1 C2 D2), (A2 B1 C2 D2), dan (A2 B1 C2 D1). Sehingga kombinasi perlakuan yang menghasilkan kehalusan yang maksimal adalah kombinasi (A2 B2 C2 D1).

V. Kesimpulan

Berdasarkan analisis hasil, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Faktor yang paling mempengaruhi kehalusan permukaan benda kerja adalah faktor arah gerak atau putar alat potong.
2. Diperoleh kombinasi atau variasi terbaik yang menghasilkan kehalusan permukaan maksimal adalah dengan menggunakan diameter alat potong 8 mm, arah putar alat potong secara climb, kecepatan potong 50 m/ menit , dan kedalaman potong 3 mm dengan kehalusan permukaan 1,504 µm dan sesuai dengan standar DIN 4763:1981

Daftar Pustaka

- Abdul, H., Sapto, A., Yudhi, S., 2009, *Aluminium Dan Paduannya*, Makalah, Institut Pertanian Bogor
- Kiswanto, G., 2008, *Pengaruh Tipe Pahat Dan Arah Pemakanan Permukaan Berkontur Pada Pemesinan Milling Awal (Roughing) Dan Akhir (Finishing) Terhadap Permukaan Hasil Pemesinan*, Universitas Indonesia
- Lilih, 2001, *Mesin Milling CNC TU-3A, Edisi VI*, Balai Latihan Pendidikan Teknik Surabaya, Surabaya.
- Ristanto, B., 2006, *Pengaruh Feeding Terhadap Tingkat Kekasaran Pada Proses Penyekrapan Rata Dengan Spesimen Baja Kharbon*, Skripsi, Universitas Negeri Semarang.
- Setyaji, P., 2010, *Penentuan Kombinasi Optimal Pada Proses Pelapisan Krom Dengan Metode Eksperimen Faktorial*, Skripsi, UPN“Veteran“ Yogyakarta
- Setyawan, S., 2008, *Optimasi Kombinasi Bahan Baku Batako Yang Menghasilkan Kuat Tekan Maksimum Dan Biaya Minimum Dengan Perancangan Eksperimen*, Skripsi, UPN“Veteran“ Yogyakarta
- Sudjana, 2002, *Desain Dan Analisis Eksperimen*, Tarsito, Bandung.

Sumbodo, W., 2008, *Teknik Produksi Mesin Industri*, Departemen Pendidikan Nasional.
Walpole, R., 1995, *Pengantar Statistika, Edisi Ke-3*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
Yang, Jhon L & Chen, Yoseph C, 2001, *A Systematic Approach For Identifying Optimum Surface Roughness Performance In End-Milling Operation*, Journal Of Industrial Technology, Taiwan